

4. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 655 с.

Научный руководитель: А.В. Панкратов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В РАМКАХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Ф.С. Непша, В.М. Ефременко

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

В процессе эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) угольных шахт возникает необходимость в расчете и анализе электрических режимов. При этом расчет электрических режимов необходим для решения задачи оптимизации режима работы СЭС по различным критериям (минимум потерь (потребления) активной мощности, обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии), а также определения критических уровней напряжения, при которых возможно нарушение устойчивости работы двигательной нагрузки.

Для выполнения расчета электрического режима необходимо создать модель СЭС угольной шахты, которая должна быть представлена в виде графа, состоящего из узлов и ветвей.

В состав модели СЭС угольной шахты входят следующие типы узлов:

1. *Нагрузочные узлы*, которые представляют характеристики электроприемников или групп электроприемников.
2. *Базисный узел*, в котором задаются параметры питающей сети и относительно которого выполняется расчет режимов. Как правило, устанавливается на границе раздела между угольной шахтой и энергоснабжающей организацией.
3. *Генераторные узлы*, представляют объекты генерации, которые могут входить в состав СЭС угольной шахты.

Также в состав модели входят различные типы ветвей:

4. *Трансформаторные ветви*, которые представляют характеристики трансформаторов главных понизительных подстанций (ГПП), передвижных участковых подземных подстанций (ПУПП).
5. *Ветви линий*, которые представляют характеристики линий, образующих СЭС угольной шахты.
6. *Ветви выключателей*, представляют выключатели, с помощью которых выполняется изменение топологии СЭС.

На основании созданной модели выполняется формирование уравнений установившегося режима (УУР). Существует большое количество численных методов, с помощью которых они могут быть обработаны для получения данных о модулях и фазах напряжения в узлах, однако точных методов для решения этих уравнений не существует. Методы решения нелинейных УУР подробно рассмотрены в работах [1-7].

Методы решения нелинейных УУР можно классифицировать следующим образом:

- I. Традиционные методы
 1. Метод покоординатного спуска (градиентный метод).
 2. Методы зейделевского типа (методы Зейделя и Гаусса-Зейделя).
 3. Метод узловых напряжений.
 4. Методы Ньютоновского типа (классический метод Ньютона; методы по параметру; методы, основанные на изменении точки линеаризации по ходу формирования матрицы Якоби и ее треугольного разложения (методы К.М. Брауна, Н.И. Бартоломея)).
- II. Нетрадиционные методы (метод нечеткой логики; метод на базе искусственных нейронных сетей, прочие методы (на базе генетических алгоритмов и др.)).

В [2] рассмотрено применение для решения УУР метода наискорейшего спуска. Показано, что скорость сходимости метода наискорейшего спуска принципиально не изменится, если УУР будут записаны в любой другой форме и полярных координатах. При этом выполнялось изменение других параметров схемы замещения: количество узлов, класс напряжений, степень неоднородности пассивных параметров, величины нагрузок и др., но улучшения сходимости при этом не наблюдалось.

Решение УУР методами зейделевского типа подробно рассмотрено в работах [2-3]. Итерационная схема метода Зейделя проста, но может сходиться медленно или расходиться. Тем не менее, методы зейделевского типа обладают лучшей сходимостью и часто применяются для определения начальных приближений при решении нелинейных УУР методами ньютоновского типа. Кроме того, методы зейделевского типа предъявляют минимальные требования к памяти ЭВМ т.к. при их использовании нет нужды в хранении матриц большого размера. Также стоит отметить получивший на начальных этапах применения ЭВМ для решения УУР метод Гаусса-Зейделя. В нем для улучшения сходимости процесса итераций вводится специальный ускоряющий коэффициент. Однако, несмотря на введение коэффициентов ускорения, метод Зейделя – Гаусса ненамного лучше метода Зейделя.

В [2-3] рассмотрено применение метода узловых потенциалов для решения нелинейных УУР. Основным преимуществом этого метода является то, что число итераций не зависит от числа переменных. Метод заключается в последовательном уточнении значений узловых напряжений путем решения системы линейных алгебраических уравнений. Для улучшения сходимости метода узловых потенциалов итерационный процесс может регулироваться путем умножения поправки по напряжению на определенный коэффициент демпфирования. Метод получил распространение для выполнения предварительных вычислений потокораспределения в сетях с классом напряжения 110 кВ и выше.

Методы ньютоновского типа включают в себе классический метод Ньютона и его модификации, связанные с введением коэффициента ускорения – параметра (метод «по параметру»). В настоящее время методы ньютоновского типа широко применяются для реализации программных комплексов для расче-

та режимов. Классический метод Ньютона подробно описан в работах [1-3]. Различные вариации метода «по параметру» описаны в работах [4-6]. Классический метод Ньютона чувствителен к выбору начальных приближений, если начальные приближения далеки от искомого решения, то классический метод Ньютона может сходиться медленно или не сходиться вообще. В случае монотонности функции метод обеспечивает получение решения с любого приближения. Если функция немонотонная, то получение решения существенно зависит от начального приближения. Метод может пропустить правильное решение и выйти к другому решению, или вообще разойтись.

Все методы ньютоновского типа заключаются в формировании матрицы Якоби и последующим определением поправок к искомым переменным. Формирование матрицы Якоби производится на каждой итерации до момента, когда точность расчетов достигнет заданной. При этом решение системы УУР методом Ньютона имеет более высокую надежность с точки зрения сходимости по сравнению с методами зейделевского типа. Методы Ньютоновского типа позволяют получить решение, когда градиентный метод и методы Зейделевского типа расходятся при решении УУР.

Сущность классического метода Ньютона заключается в определении на каждой итерации вектора поправок $\Delta X^{(k+1)}$ и в прибавлении его к вектору независимых переменных $X^{(k)}$. Итерационный процесс при этом имеет вид:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k+1)} \quad (1)$$

Классический метод Ньютона обладает плохой сходимостью в системах УУР с плохо обусловленной матрицей Якоби или при плохих начальных приближениях. Поэтому классический метод Ньютона не пригоден для анализа предельных режимов, а также анализа нормальных режимов близких к предельным режимам. В таком случае рекомендуется применять метод Ньютона «по параметру».

В отличие классического метода Ньютона, методы по параметру предусматривают расчет переменных на каждой итерации k по следующей формуле:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \lambda^{(k)} \cdot \Delta X^{(k+1)} \quad (2)$$

где $\lambda^{(k)}$ - коэффициент демпфирования или коэффициент корректировки длины шага, определяемый на каждой итерации.

Цель введения параметра $\lambda^{(k)}$ состоит в предупреждении расходимости процесса итераций. Сходимость метода Ньютона можно оценить по изменению различных норм вектора небалансов $\|W_{нб}\|$. Монотонное снижение любой из этих норм в процессе итераций является достаточным условием сходимости процесса.

Одним из первых методов по параметру, называемый метод последовательных интервалов, был предложен Л. А. Круммом [3]. Этот метод фактически соответствует утяжелению режима и решению на каждом шаге утяжеления уравнений УР. Здесь величина параметра определяется длиной выбираемых интервалов, которые выбираются случайным образом. Таким образом, скорость схо-

димости простейшего метода по параметру зависит от длины выбираемых интервалов.

В настоящее время, в программах для расчета электрических режимов наибольшее распространение получило вычисление коэффициента демпфирования по схеме Энеева-Матвеева [4]. Такая схема обладает высокой надежностью и окупает некоторые дополнительные затраты времени по сравнению с классическим методом Ньютона. Дополнительные затраты вызываются необходимостью вычисления величины шага, а также некоторым увеличением числа итераций вследствие ограничения шага.

В методе Брауна предложено выполнять линеаризацию каждого отдельного уравнения по мере выполнения процедуры исключения Гаусса. Метод Брауна рекомендуется как особо надежный, специально ориентированный на решение задач с плохо обусловленной матрицей Якоби. Метод П.И. Бартоломея также подразумевает изменение точки линеаризации от одного уравнения к другому. Тем не менее, у вышеуказанных методов нет явных преимуществ перед методами ньютоновского типа.

Также стоит выделить нетрадиционные методы решения УУР, подробный анализ которых, выполнен в работе [7].

В целом нетрадиционные методы решения УУР показали себя достаточно хорошо, в частности в некоторых работах было достигнуто сокращение времени решения УУР по сравнению с традиционными методами.

Тем не менее, по причине отсутствия свидетельств подтверждающих явные преимущества нетрадиционных методов решения УУР над традиционными методами, возможность их применения в рамках СЭС угольной шахты не рассматривается.

Проведенный анализ показывает, что наиболее эффективным среди рассмотренных методов является метод Ньютона с расчетом коэффициента демпфирования по схеме Энеева-Матвеева. Указанный метод обладает достаточной точностью, а также обладает хорошей сходимостью в СЭС любой конфигурации. Отметим, что современные программные средства позволяют эффективно реализовать вышеуказанный метод на ЭВМ.

Таким образом, в рамках алгоритма оптимизации уровня напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потребления активной мощности, целесообразно рассматривать метод Ньютона с расчетом коэффициента демпфирования по схеме Энеева - Матвеева.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Деннис Д., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. - М: Мир, 1988. – 440 с.
2. Грунин О.М., Савицкий Л.В. Математические задачи энергетики: учеб. пособие. – Чита: ЗабГУ, 2014. - 260 с.
3. Идельчик, В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. - М.: Энергоатомиздат, 1988

4. Матвеев В.А. Метод приближенного решения систем нелинейных уравнений - Журнал вычислительной математики и математической физики, 1964. - Том 4. №6. - С. 983 - 994.
5. Тарасов В.И. Нелинейные методы минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. - Новосибирск: Наука, 2001. - 214 с.
6. Тарасов В.И. Теоретические основы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем. — Новосибирск: Наука, 2002. — 344 с.
7. Bhowmik, D. V. Rajan, S. P. Bose. Load Flow Analysis: An Overview - World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:6, No:3, 2012.

Научный руководитель: В.М. Ефременко к.т.н., профессор кафедры горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева.

АНАЛИЗ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО «МЭС»

О.А. Губина, А.В. Малафеев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

При управлении режимами электроэнергетических систем исходная информация для принятия решений поступает в основном от телеизмерений. Канал телеизмерения—обеспечивает необходимую для надежного управления обратную связь. Телеизмерения позволяют не только судить о текущих значениях параметров режимов. На основе уравнений электрической сети, связывающих отдельные измеряемые величины, в принципе можно: дорассчитать неизмеренные параметры; выявить и устранить грубые ошибки и снизить обычные ”нормальные” ошибки измерений; определить тенденции изменения режима и по этой информации дать прогноз режима на определенное время упреждения; определить качество функционирования каналов сбора данных [1].

Наблюдаемость как одно из информационных свойств электроэнергетических систем (ЭЭС), если в понятие ЭЭС включить и ее измерительное обеспечение, которое определяется как возможность системы предоставлять необходимую для управления информацию о текущем ее состоянии.

Повышение управляемости и наблюдаемости электроэнергетических систем, повышение надёжности управления являются сегодня актуальными задачами. Актуальность определяется:

- необходимостью предотвращения системных аварий, вероятность которых, как показывает практика, существует.
- изменяющимися отношениями между субъектами, взаимодействующими на рынке электроэнергии. Реформирование отрасли порождает новые реалии и новое разграничение обязанностей и ответственности.